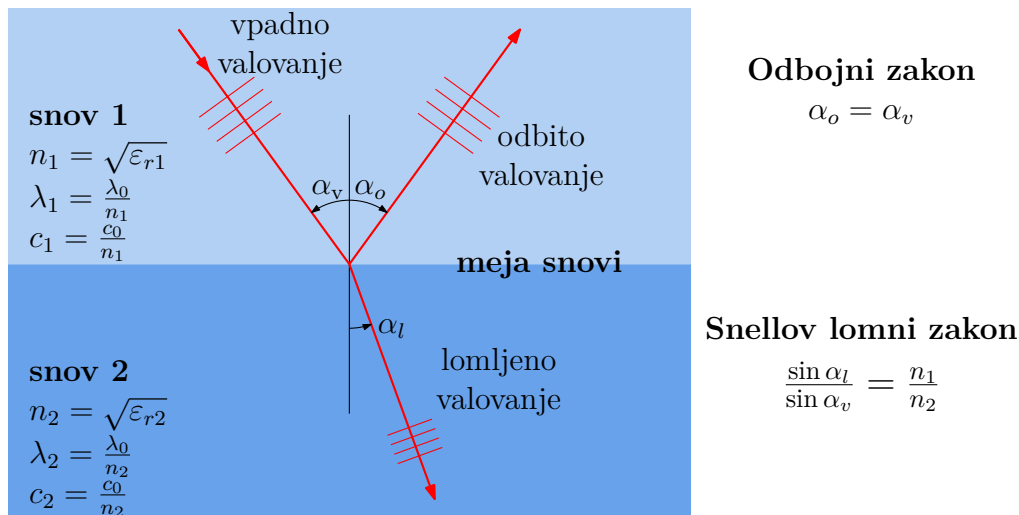


1 Merjenje lomnega količnika preko popolnega odboja

1.1 Popolni odboj valovanja

Ko valovanje vpada na mejo dveh različnih snovi, se del valovanja lahko odbije nazaj v izvorno snov, del valovanja pa se lahko lomi v drugo snov. V najbolj splošnem slučaju opazimo oba pojava, lom in odboj valovanja, kot je to prikazano na sliki 1.1. Pri tem smatramo, da sta valovni impedanci in hitrosti razširjanja valovanja v različnih snoveh različne med sabo, kot tudi da je meja med dvema različnima snovema ostro določena.



Slika 1.1: Odboj in lom valovanja na meji dveh snovi.

Povezavo med smermi razširjanja vpadnega, odbitega in lomljenega valovanja dobimo iz zahteve, da je fazni zamik med vpadnim, odbitim in lomljenim valovanjem enak v katerikoli točki mejne ploskve med različnima snovema. Kot odbitega žarka mora zato biti enak kotu vpadnega žarka. Povezavo med kotom vpadnega žarka in kotom lomljenega žarka daje Snellov lomni zakon.

Svetloba je elektromagnetno valovanje, torej prečno (transverzalno) valovanje. Lastnosti snovi pri svetlobnih frekvencah določa v glavnem dielektričnost, saj je magnetna permeabilnost večine snovi enaka permeabilnosti praznega prostora pri svetlobnih frekvencah. Dielektričnost običajno edina določa hitrost razširjanja svetlobe v snovi, ki jo podajamo z lomnim količnikom, ter valovno impedanco snovi.

V nekaterih primerih ne dobimo odboja valovanja na meji dveh različnih snovi. Odboj izgine, ko sta valovni impedanci dveh različnih snovi med sabo enaki. Odboj lahko izgine tudi takrat, ko meja med snovema ni ostra, pač pa se snovni parametri zelo počasi spreminjajo (glede na valovno dolžino). Končno lahko odboj izgine v posebnih slučajih, na primer pri vpadu prečnega valovanja z izbrano polarizacijo pod točno določenim kotom (Brewsterjev kot).

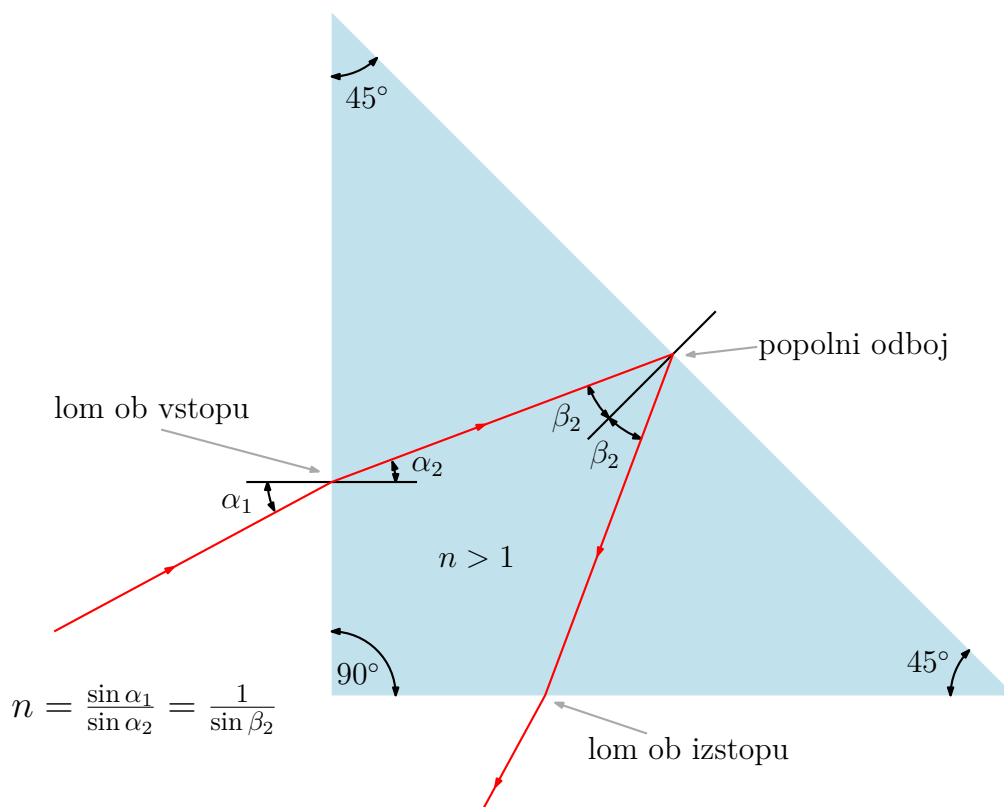
Ko valovanje prehaja iz (gostejše) snovi z manjšo hitrostjo razširjanja valovanja (višjim lomnim količnikom) v (redkejšo) snov z večjo hitrostjo razširjanja valovanja (nižjim lomnim količnikom), se lahko zgodi, da ne moremo poiskati smeri lomljenega valovanja, ki bi zadostila

pogoju, da je medsebojna faza med vpadnim, lomljenim in odbitim valovanjem enaka v katerikoli točki mejne ploskve. Ko ne dobimo lomljenega valovanja, imenujemo pojav popolni odboj. Pogoj za popolni odboj je dovolj velik vpadni kot valovanja glede na pravokotnico na mejno ploskev.

Popolni odboj valovanja na meji dveh dielektrikov je pojav, ki ga najpogosteje izkoriščamo v različnih optičnih napravah. Ena od možnih uporab popolnega odboja je tudi natančno merjenje lomnega količnika snovi. Ko preide navaden odboj na meji dveh dielektrikov v popolni odboj, lomljeni žarek izgine.

Ker ima večina snovi za vidno svetlobo večji lomni količnik od zraka, je treba najprej dovesti svetlobni žarek v merjeno snov, saj lahko popolni odboj dosežemo le pri izhodu žarka iz snovi z večjim lomnim količnikom v snov z manjšim lomnim količnikom. Da lahko na izstopni ploskvi merjenca dosežemo popolni odboj, izstopna ploskev ne sme biti vzporedna z vstopno ploskvijo. Zato pride za merjenec vpoštev oblika prizme.

Merjenec za to vajo ima obliko prizme z enakokrakim pravokotnim trikotnikom kot osnovno ploskvijo. Stranice prizme so zato pod kotom 45° ali 90° . Za opazovanje popolnega odboja izberemo ploskev ob hipotenuzi osnovne ploskve, svetlobni žarek pa naj vstopa skozi ploskev ob kraku osnovne ploskve, kot je to prikazano na sliki 1.2.



Slika 1.2: Opazovanje popolnega odboja v prizmi.

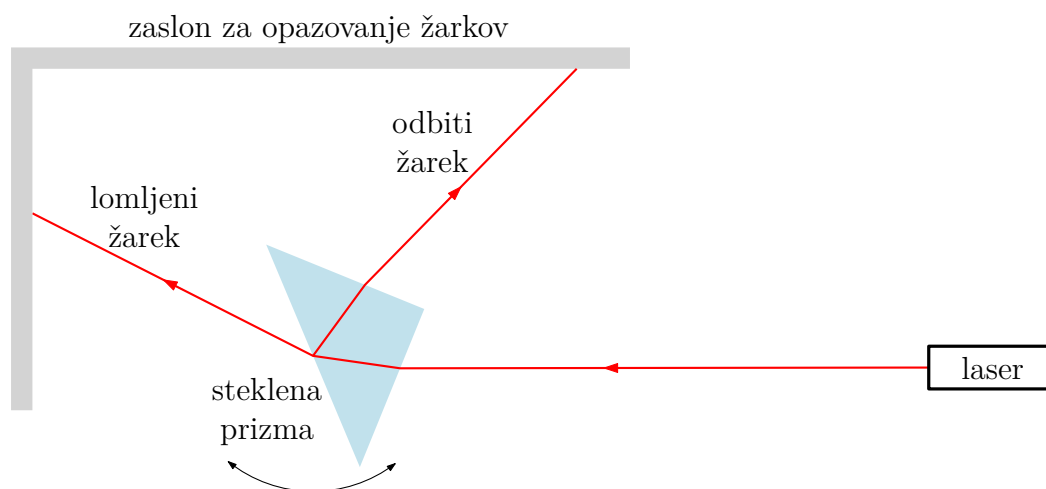
Mejni kot popolnega odboja je lahko določiti, saj je prehod iz navadnega v popolni odboj zelo oster in lomljeni žarek v trenutku izgine. Pri izračunu lomnega količnika pa je treba upoštevati, da se svetlobni žarek lomi pri vstopu v prizmo. Če ima prizma tanek antirefleksni sloj na površini, ta sloj ne vpliva na rezultat merjenja.

1.2 Seznam pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

1. polprevodniški laser,
2. stekleno prizmo na vrtljivem podstavku s kotomerom,
3. ravnilo za merjenje razdalje (točna meritev kotov),
4. zaslon za opazovanje žarkov (ali dva manjša zaslona za lomljeni in odbiti žarek).

Merilna postavitvev pripomočkov je prikazana na sliki 1.3.



Slika 1.3: Merjenje kota popolnega odboja v prizmi.

1.3 Opis poteka vaje

Vajo sestavimo na ustrezni mizi v zaporedju, kot poteka svetlobni žarek iz izvora do zaslona. Najprej postavimo izvor, ki je zelen polprevodniški laser iz cenenega pointerja. Stekleno prizmo postavimo na vrteči podstavek, ki ima vgrajen kotomer. Kot zaslon lahko uporabimo tudi zid sobe, sicer pa lomljeni ali odbiti žarek poiščemo z listom papirja.

Pri vrtenju prizme moramo paziti, saj lahko prizma lomi ali odbije žarek v različne smeri. Čeprav je izhodna moč svetlobnega izvora komaj nekaj mW, je žarek zadosti močen, da poškoduje človeško oko. Če prizma ni prevlečena z antirefleksnim slojem, dobimo vrsto odbojev tudi na vstopnih in izstopnih ploskvah, kar da skupaj celo pahljačo žarko, ki se sučejo z vrtenjem prizme.

1.4 Prikaz rezultatov

Lomni količnik prizme bi se sicer dalo izračunati pri poljubnem vpadnem kotu svetlobnega žarka, saj se v vsakem slučaju svetloba lomi pri vstopu in pri izstopu iz prizme. Na meji popolnega odboja je ta račun najenostavnejši, saj je tedaj izhodni lomljeni žarek vzporeden s stranico prizme. Na ta način določimo točen položaj stranic prizme glede na skalo kotomera.

Pri prehodu iz navadnega v popolni odboj opazimo dva zanimiva pojava. Slika lomljenega žarka se iz točke razmaže v podolgovato liso, preden popolnoma izgine. Ko lomljeni žarek izgine, se odbiti žarek ojači, saj gre zdaj vsa moč vhodnega žarka v odbiti žarek.

Mejni kot popolnega odboja najprej določimo kar s kotomerom, ki je vgrajen v vrtečem podstavku prizme. Bolj točen rezultat dobimo tako, da določimo položaj prizme iz smeri vstopnega in lomljenega žarka. Te kote dobimo z merjenjem razdalj na mizi, na kateri sestavimo vajo. Pri merjenju razdalj si lahko pomagamo z znanimi razdaljami med pritrdilnimi izvrtinami na mizi za sestavljanje vaj.

V končnem izračunu lomnega količnika ne smemo pozabiti na lom vpadnega žarka ob vstopu v prizmo ter lom odbitega žarka ob izstopu iz prizme.

1.5 Vprašanja in naloge

1. Določi mejni kot popolnega odboja!
2. Določi lomni količnik prizme!
3. Zakaj se lomljeni žarek razmaže v podolgovato liso preden izgine?
4. Kako bi potekal poskus, če bi bila prizma prevlečena z antirefleksnim slojem na vseh stranicah?

2 Merjenje lomnega količnika iz Brewsterjevega kota

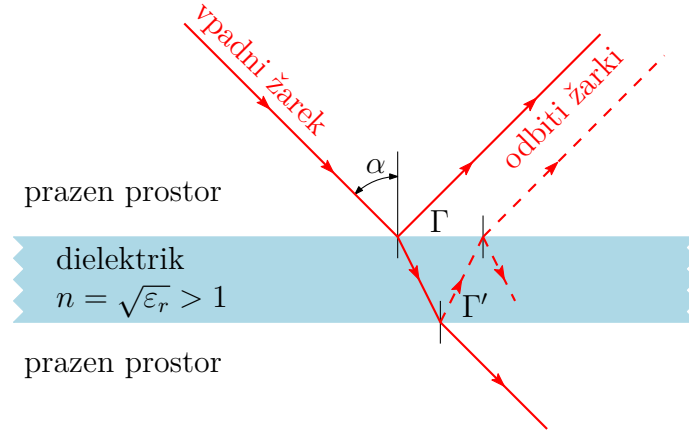
2.1 Odboj svetlobe na površini stekla

Povezavo med koti vpadnega, odbitega in lomljenega žarka na meji dveh različnih snovi opisuje Snellov zakon. Snellov zakon ni odvisen od polarizacije elektromagnetnega valovanja (povsem enak zakon velja tudi za vzdolžna valovanja, na primer za lom zvočnega valovanja), zato lomne lastnosti različnih snovi preprosto opišemo z lomnim količnikom.

Povsem drugače je z razdelitvijo moči vpadnega žarka med odbiti žarek in lomljeni žarek. Delitev moči je odvisna tudi od polarizacije valovanja in od vrste snovi: dielektrik, feromagnetik ali obojno. Razmerje delitve moči običajno opišemo z velikostjo odbojnosti, to je razmerjem amplitud odbitega in vpadnega žarka.

Steklo in druge za svetlobo prozorne snovi so v svetlobnem frekvenčnem področju v glavnem dielektriki. Relativna magnetna permeabilnost stekla in drugih prozornih snovi je praktično ena. Lomni količnik je zato preprosto enak kvadratnemu korenu dielektrične konstante v danem frekvenčnem področju.

V slučaju meje dveh dielektrikov (z enakima magnetnima permeabilnostima, običajno obema enakima ena) opisujeta delitev moči Fresnelova izraza (2.1). Izraza se razlikujeta glede na polarizacijo svetlobe. Definiciji TE in TM polarizacije sta zapisani skladno z definicijami v valovodih. V TE slučaju je vektor električnega polja $\vec{E}$ vzporeden z mejo snovi.¹ V TM slučaju pa je vektor magnetnega polja $\vec{H}$ vzporeden z mejo snovi.²



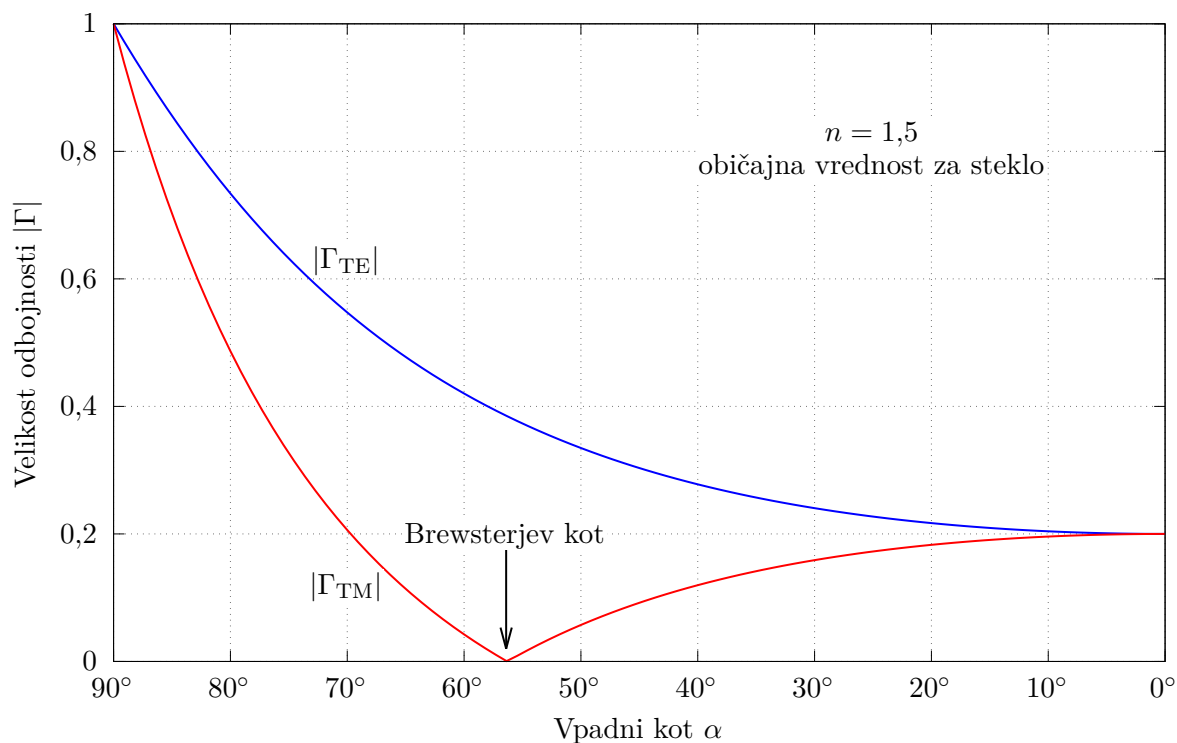
Slika 2.1: Odboj na plasti dielektrika v praznem prostoru.

$$\Gamma_{\text{TE}} = \frac{\cos \alpha - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha + \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \quad \Gamma_{\text{TM}} = \frac{n^2 \cos \alpha - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n^2 \cos \alpha + \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \quad (2.1)$$

Potek velikosti obeh odbojnosti (za TE in TM) za običajno vrednost lomnega količnika (1,5 za steklo) je prikazan na sliki 2.2. Odbojnost za TM polarizacijo pri določenem kotu upade na nič v slučaju brezizgubnih snovi oziroma doseže minimum. Kot, pri katerem doseže odbojnost za TM polarizacijo minimum, imenujemo Brewsterjev kot.

¹ $\vec{E}$ na sliki 2.1 štrli iz papirja.

² $\vec{E}$ na sliki 2.1 leži v papirju.



Slika 2.2: Potek odbojnosti kot funkcija vpadnega kota α .

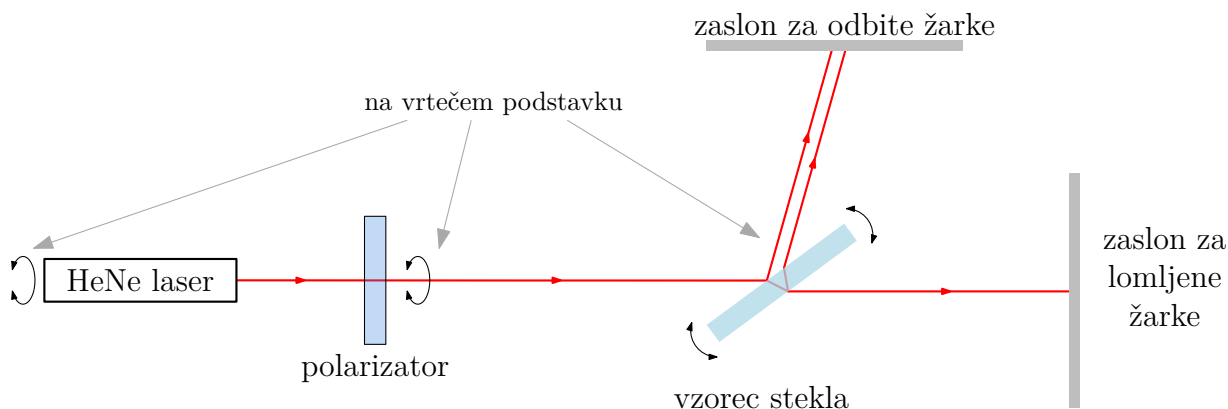
Za svetlobo prozorne snovi imajo zelo majhne izgube, zato je minimum odbojnosti pri Brewsterjevem kotu zelo globok in zelo ozek ter ga lahko na enostaven način natančno izmerimo. Odsotnost odbitega žarka pri Brewsterjevem kotu in pravilni polarizaciji izkoriščamo v različne namene: izdelava enostavnih polarizatorjev svetlobe, izdelava oken z majhnimi izgubami svetlobe (laserji) ter preprečevanje odbojev povsod tam, kjer škodijo delovanju naprave.

2.2 Seznam pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

1. polarizirani HeNe laser,
2. steklene ploščice (merjenci),
3. nastavljen polarizator,
4. optično klop s pripadajočimi vrtljivimi podstavki,
5. ravnilo za merjenje razdalj (določanje kotov),
6. dva zaslona.

Merilna postavitvev pripomočkov je prikazana na sliki 2.3.



Slika 2.3: Merilna postavitve.

2.3 Opis poteka vaje

Vajo sestavimo na optični klopi v zaporedju, kot poteka svetlobni žarek iz izvora do zaslona. Najprej postavimo izvor – laser. Stekleno ploščico (merjenec) postavimo na vrteči podstavek, ki naj ima po možnosti vgrajen kotomer. Za zaslon lahko uporabimo zid sobe, sicer pa lomljene ali odbite žarke poiščemo z listom papirja. Pri vrtenju ploščice moramo paziti, saj lahko le ta odbije žarek v različne smeri. Čeprav je izhodna moč svetlobnega izvora komaj nekaj mW, je žarek zadosti močen, da poškoduje človeško oko. Za to meritev potrebujemo polarizirano HeNe lasersko cev. Ker se pri nepolarizirani laserski cevi polarizacija počasi spreminja skladno z menjanjem rodov laserskega rezonatorja (perioda nekaj sekund do nekaj minut), bi potrebovali dodaten zunanji polarizator. Z zunanjim polarizatorjem bi sicer lahko dosegli želeno polarizacijo, vendar bi moč izvora zelo nihala.

Polarizatorja zaenkrat še ne vgradimo, pač pa nastavimo stekleno ploščico tako, da vpadni kot žarka približno ustreza pričakovanemu Brewsterjevemu kotu. Nato zavrtimo lasersko cev okoli vzdolžne osi in poiščemo minimum odbitih žarkov. Minimum nato popravimo s sukanjem ploščice. Končno vgradimo še polarizator, ki nam bo služil predvsem za natančno (fino) nastavljanje polarizacije. Pri vrtenju polarizatorja pazimo, da ga ne nastavimo pravokotno na polarizacijo laserja, saj takrat izginejo vsi žarki, tudi lomljeni žarek skozi ploščico. Pravilno nastavljen polarizator skupaj s polariziranim laserjem omogoča doseganje res čiste linearne polarizacije. Tako lahko s sukanjem ploščice dosežemo res oster minimum, pri katerem odbiti žarki povsem izginejo.

2.4 Prikaz rezultatov

Brewsterjev kot izračunamo iz izmerjenih razdalj do točk na zaslonu za odbite žarke. Iz Brewsterjevega kota lahko nato izračunamo lomni količnik steklene ploščice. Na stekleni ploščici sicer dobimo celo vrsto odbojev in celo vrsto odbitih žarkov, saj se žarki odbijajo na prednji in zadnji strani ploščice. Če na obeh straneh ploščice velja isti lomni zakon, dobimo za vse odbite žarke isti Brewsterjev kot.

Iz Brewsterjevega kota ne moremo preprosto določiti lomnega količnika takrat, ko je steklena površina prekrita z antirefleksnim oziroma nekim drugim tankim slojem. V tem slučaju imamo

seveda opraviti z večjim številom različnih odbojev na površini stekla. Ker ima lahko steklena ploščica nanese različne sloje na vsaki strani posebej, odboj s prednje strani takšne ploščice ni nujno enak odboju z zadnje strani ploščice.

2.5 Vprašanja in naloge

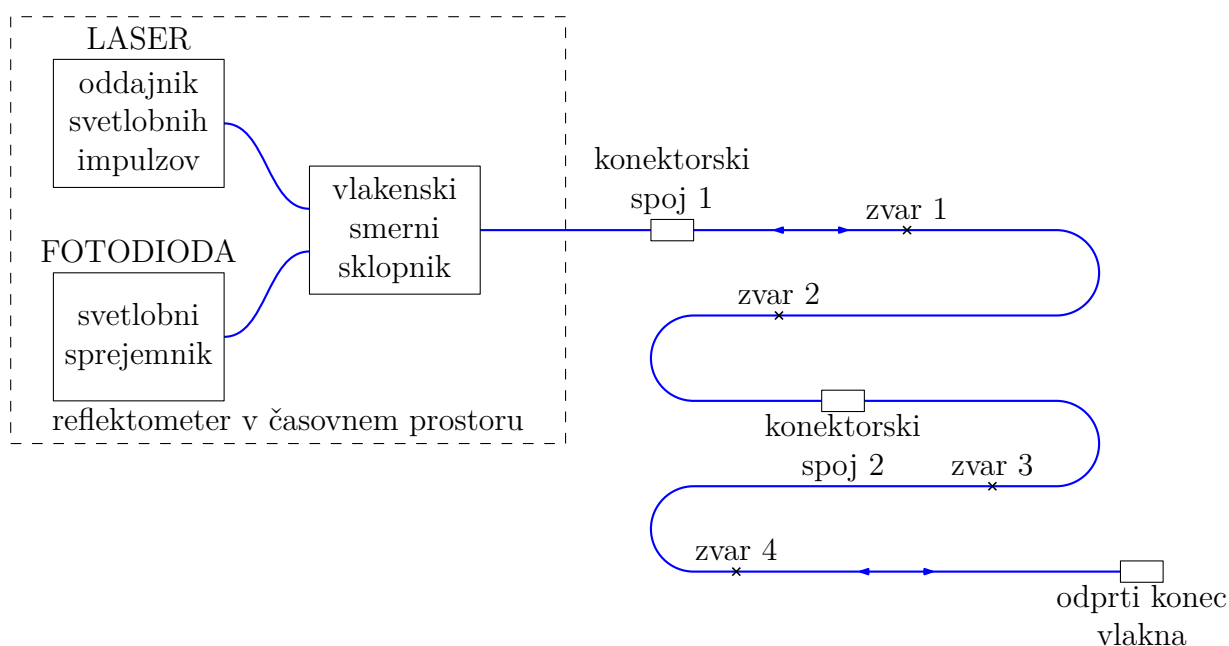
1. Izmeri Brewsterjev kot steklene in pleksi ploščice.
2. Izračunaj lomni količnik steklene in pleksi ploščice.
3. Kje se uporablja Brewsterjevo okno?
4. V kakšni medsebojni zvezi sta odbojnosti Γ ob vstopu žarka in Γ' ob izstopu?

3 Optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR)

3.1 Reflektometriške meritve optične zveze

Pri meritvah resničnih optičnih zvez sta si oba konca zveze nekaj deset do nekaj sto kilometrov narazen, torej običajno nista dostopna hkrati. Za meritev optične zveze bi zato želeli postopek, ki zna izmeriti optično vlakno v vkopanem kablu z dostopom na enem samem koncu optične zveze. Takšno meritev imenujemo reflektometerska meritev. Izvedemo jo tako, da v vlakno pošljemo na enem koncu znan signal in opazujemo, kaj se po določenem času zaradi različnih odbojev vrne na istem koncu vlakna.

Reflektometerska meritev v časovnem prostoru je prikazana na sliki 3.1. V vlakno pošljemo



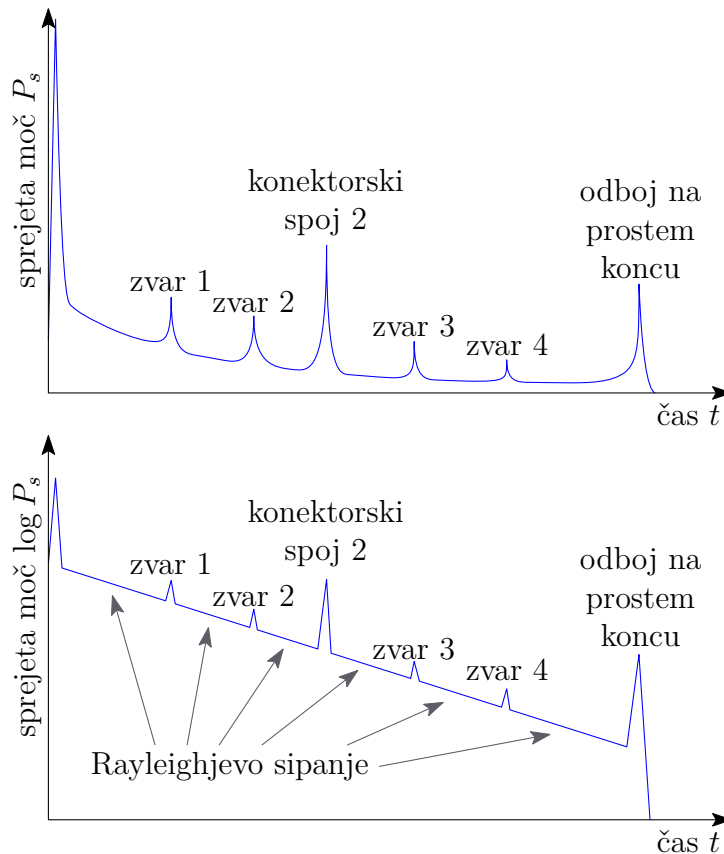
Slika 3.1: Reflektometriška meritev v časovnem prostoru.

časovno kratek impulz svetlobe. Svetlobni impulz se odbije predvsem na odprtem koncu vlakna in na konektorskih spojih. Precej slabotnejše je Rayleighjevo sipanje svetlobe v steklu vzdolž celotne dolžine vlakna (glej sliko 3.2). Odboji na zvarih so zanemarljivo majhni.

Posamezne odbite signale ločimo med sabo po času prihoda v sprejemnik, saj mora vsak signal preteči najprej pot od oddajnika do točke odboja in se potem po isti poti vrniti nazaj. Iz izmerjenega časa med oddajo impulza in sprejemom odboja lahko potem izračunamo mesto nepravilnosti ali položaj napake vzdolž vlakna. Pri brezhibni optični zvezi vedno opazimo tudi odboj na drugem, prostem koncu vlakna.

Ustrezen merilnik, ki vsebuje oddajnik optičnih impulzov, smerni sklopnik, optični sprejemnik in prikazovalnik rezultata meritve, imenujemo optični reflektometer v časovnem prostoru ali OTDR (angl. Optical Time-Domain Reflectometer). Glavna omejitev optičnega reflektometra je uporaben domet. Signal reflektometra se sicer širi po istem vlaknu kot signal resnične optične zveze, toda signal reflektometra mora isto pot preteči dvakrat!

Poleg tega so odboji slabotni: najmočnejši odboj na prostem koncu vlakna znaša komaj 4 %



Slika 3.2: Rezultat reflektometerske meritve v linearni (zgoraj) in logaritemski (spodaj) skali sprejete moči.

moči vpadne svetlobe, odboji dobrih konektorjih so še manjši. Najslabotnejše je Rayleighjevo sipanje svetlobe, saj predstavlja glavni mehanizem izgub kakovostnih optičnih vlaknih, ki ga skušamo čimbolj zmanjšati z izbiro primerne valovne dolžine svetlobe. Od celotne sipane moči se je večji delež razprši izven vlakna in le manj kot 1 % sipane moči se nazaj „ujame“ v optični valovod.

V reflektometer v časovnem prostoru zato vgradimo laser s čimvečjo izhodno močjo, vendar je ta omejena s konstrukcijo polprevodniškega laserja in nastopom nelinearnih pojavov v samem vlaknu pri močeh 10 mW do 100 mW. Pri določanju dometa ne smemo pozabiti niti na izgube v smernem sklopniku. Ker je smerni sklopnik recipročen sestavni del, znašajo te izgube najmanj 6 dB (3 dB na oddaji in še 3 dB na sprejemu).

Dometa reflektometra povečamo tudi s povprečenjem večjega števila meritev, končni rezultat pa običajno ponazorimo v logaritemski skali, kot je to prikazano na sliki 3.2 spodaj. Ker je Rayleighjevo sipanje dobro poznan pojav, predvsem pa se vzdolž vlakna ne spreminja, lahko iz naklona krivulje v logaritemski skali enostavno določimo slabljenje zveze.

Edina preostala spremenljivka je trajanje svetlobnega impluza. S krajšim impulzom dosežemo boljšo natančnost določanja mesta odboja, a hkrati zmanjšamo dometa reflektometra.

Ker nam je merilo za dometa reflektometra možnost opazovanja Rayleighjevega sipanja, je reflektometer za valovno dolžino 850 nm razmeroma enostaven, za valovno dolžino 1300 nm je zahtevnejši in za valovno dolžino 1550 nm je reflektometer v časovnem prostoru tehnološko zelo

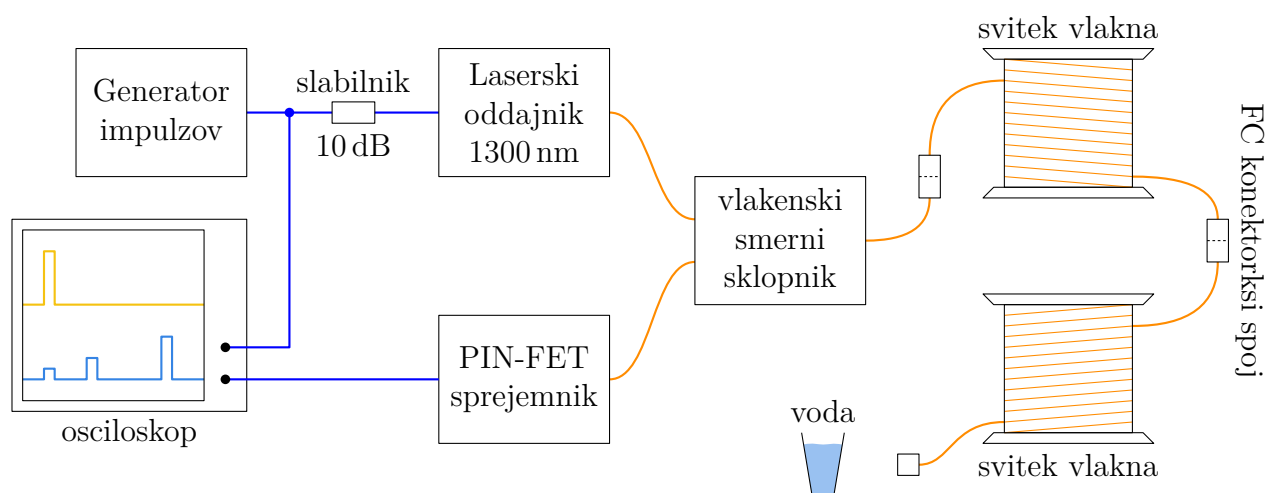
zahtevna naprava.

3.2 Seznam pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

1. generator impulzov,
2. laserski oddajnik,
3. PIN-FET sprejemniški modul,
4. enosmerna vira za napajanje oddajnika in sprejemnika,
5. mnogorodovni optični sklopnik,
6. koluta vlakna (merjenca).

Merilna postavitvev pripomočkov je prikazana na sliki 3.3.



Slika 3.3: Vezava reflektometra v časovnem prostoru (OTDR).

3.3 Opis poteka vaje

Polprevodniški sestavni deli za komunikacije preko optičnih vlaken so zelo občutljivi elektronski sestavni deli, ki zahtevajo nežno in natančno rokovanje. Polprevodniški laserski modul in PIN-FET sprejemniški modul lahko poškodujemo električno ali mehansko. Pri tej vaji je treba paziti predvsem na to, da laserskega oddajnika ne prekrmilimo niti z enosmernim izvorom, niti z modulatorskimi impulzi. Pazimo tudi na polariteto izvorov, ker ima laserski oddajnik plus (+) pol napajanja na ohišju, sprejemnik pa minus (−) pol napajanja na ohišju.

Optična vlakna laserja, PIN-FET sprejemnika in sklopnika so sicer zaščitena, vendar še vedno zahtevajo pazljivejše ravnanje, še posebno FC konektorji na koncih vlaken. Ker imajo vse laserske diode pozitivni pol napajanja na ohišju, krmilimo laserski oddajnik z negativnimi impulzi z amplitudo okoli $-1,5\text{ V}$. Na laserski oddajnik hkrati pripeljemo enosmerno napajanje.

Enosmerni izvor nastavimo tako, da skozi laser teče tok, ki je le nekoliko nižji od pragovnega toka laserja. S tem se izognemo motečemu šumu laserja.

Kot sprejemnik uporabimo PIN-FET modul, ker ima zadosti veliko ojačenje, da lahko naravnost krmili osciloskop brez dodatnih ojačevalnih stopenj. Merilnik na PIN-FET modulu se v tej vaji ne odkloni, ker deluje laser le v ozkih impulzih, povprečna moč pa je zelo nizka. Smiselno jakost signalov zato poiščemo na osciloskopu.

3.4 Prikaz rezultatov

Glede na to, da smo uporabili navaden (komunikacijski) InGaAsP laser z majhno izhodno močjo, s sestavljenim reflektometrom ne bomo opazili Rayleighjevega sipanja na valovni dolžini 1300 nm. S šolskim reflektometrom lahko zato opazujemo le odboje na nezaključenih koncih vlaken, kapilarnih spojih in konektorjih.

Če sestavimo vajo po sliki 13.3, opazimo na osciloskopu tri impulze. Prvi impulz je odboj na konektorjih sklopnika oziroma presluh sklopnika. Drugi impulz je na konektorskem spoju, ki povezuje oba svitka vlakna in je zaradi dobrega sklopa običajno majhen. Če konektorski spoj malo odvijemo, vidimo povečanje drugega impulza na osciloskopu. Tretji impulz pa je odboj na prostem koncu drugega svitka vlakna. Če prosti FC konektor približamo in natančno usmerimo v zrcalo, lahko tudi opazimo povečanje odboja.

Glede na trajanje uporabljenih impulzov v velikostnem razredu 0,5 μ s, znaša ločljivost reflektometra okoli 50 m v optičnem vlaknu. Zato s sestavljenim reflektometrom ne moremo razločiti med različnimi odboji v bližini samega sklopnika, se pravi raznih odbojev na konektorjih in presluh samega sklopnika. Prav tako ne moremo med sabo ločiti odbojev na drugem koncu kilometrske optične poti.

Kar pa lahko izmerimo s smiselno natančnostjo, je dolžina vlakna v prvem in drugem svitku, iz izmerjenega časa med impulzi na zaslonu osciloskopa. Pri izračunu dolžine vlakna ne smemo pozabiti, da preteče svetloba vlakno dvakrat in to s hitrostjo, ki je za lomni količnik ($n_{\text{vlakna}} = 1,46$) manjša od hitrosti svetlobe v praznem prostoru.

3.5 Vprašanja in naloge

1. Kolikšna je dolžina posameznega koluta vlakna?
2. Koliko je ločljivost sestavljenega OTDR-ja?
3. Kakšna je optimalna dolžina pulza?
4. Iz izmerjenih velikosti odbojev izračunaj lomni količnik vode!

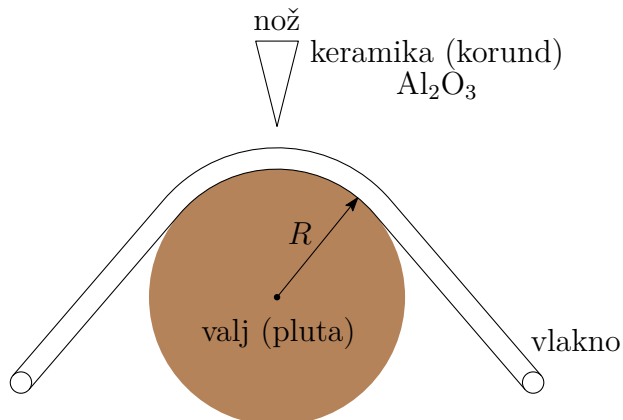
4 Rezanje in spajanje optičnih vlaken

4.1 Rezanje in spajanje steklenih vlaken

Premer obloge komunikacijskih steklenih optičnih vlaken je danes standardiziran na $125\text{ }\mu\text{m}$. Medtem ko nas pri preučevanju optičnih lastnosti vlaken zanima predvsem notranjost, to je le jedro vlakna in njegova bližnja okolica, se pri rezanju in spajanju optičnih vlaken v glavnem ukvarjamo z zunanostjo: najprej z odstranjevanjem različnih slojev zaščite, nato z rezanjem samega steklenega vlakna in končno s ponovno zaščito mesta spoja dveh optičnih vlaken.

Pred rezanjem vlakna moramo najprej odstraniti vso zaščito. Vsako stekleno optično vlakno ima vsaj primarno akrilatno zaščito zunanjega premera $250\text{ }\mu\text{m}$, ki stekleni del ščiti pred praskami. Pri upogibanju vlakna nastanejo v steklu veliki pritiski in vsakršna, še tako majhna zareza na površini stekla se takoj razširi v popolno razpoko preko celotnega preseka vlakna. Golo stekleno vlakno bi bilo zato v praksi povsem neuporabno.

Primarno zaščito in ostale zaščitne sloje lahko odstranimo na vsaj tri načine: mehansko, z ustreznimi kleščami, kemično, z ustreznim topilom ali toplotno, z vročo konico spajkalnika. Vlakno nato narežemo z ostrim nožem, naprimer z nabrušeno keramično ali vidia ploščico. Na površini vlakna naredimo le majhno, skoraj nevidno prasko. Vlakno nato upognemo na določen krivinski polmer R na valju iz mehke snovi (pluta) in praska se bo razširila v razpoko preko celotnega preseka vlakna (glej sliko 4.1).

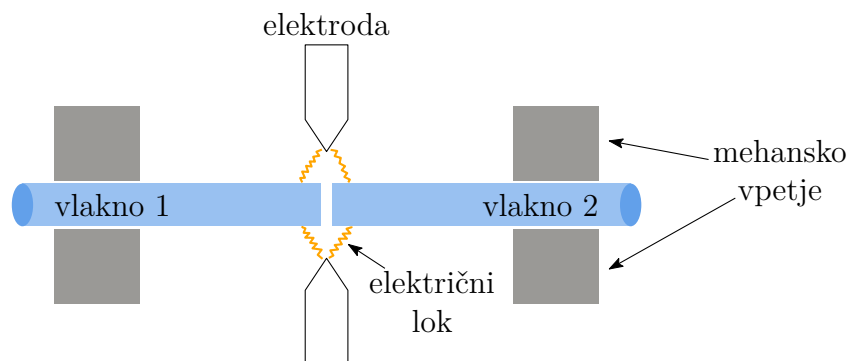


Slika 4.1: Rezanje steklenega optičnega vlakna.

Uspešnost rezanja preverimo pod mikroskopom v varilniku za optična vlakna. Če z rezultatom rezanja nismo zadovoljni, postopek ponovimo. Naravna razporeditev mehanskih sil v ukrivljenem vlaknu zagotavlja lomljenje natančno pod pravim kotom. Zato tudi različni strojčki in komplicirana orodja za rezanje optičnih vlaken delajo vsi na isti osnovi, to je izkoriščanje zakonitosti pri razširjanju razpoke v steklu.

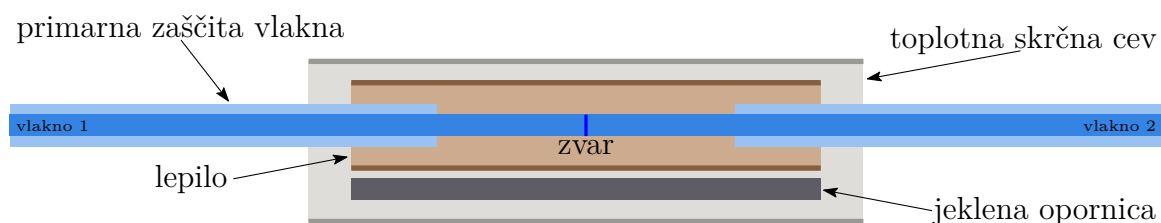
Dva pravilno odrezana konca optičnih vlaken lahko spojimo na več načinov. Najboljši spoj dveh vlaken je zvar. Konca vlaken vpnemo v mikrometrške vijake, jih pod mikroskopom natančno poravnamo in zavarimo s pomočjo električnega loka (glej sliko 4.2). Pri tem površinska napetost raztaljenega stekla in rotacijska simetrija vlaken pomagata držati vlakna v pravilnem

položaju med varjenjem. Uspešen zvar prinaša izgube manj kot 0,1 dB tudi pri enorodovnih optičnih vlaknih z zelo majhno sredico.



Slika 4.2: Varjenje steklenih vlaken

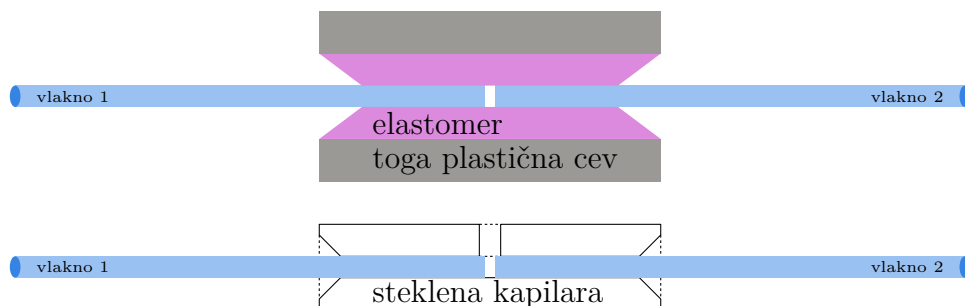
Zavarjena konca vlaken sta seveda brez vsakršne zaščite, zvar sam pa je v vsakem slučaju mehansko najbolj oslabiljeno mesto. Mesto zvara je treba takoj zaščititi, kot je to prikazano na sliki 4.3, sicer se bo tam vlakno kmalu spet odlomilo. Zvar zaščitimo s toplotno skrčno cevjo, ki



Slika 4.3: Zaščita zvara.

jo navlečemo preko zvara in golih koncev obeh vlaken. Skrčna cev vsebuje tudi lepilo - zalivko v obliki tanjše notranje cevi in jekleno opornico, ki bo ščitila zvar pred lomljenjem. Ko vse skupaj segrejemo, se lepilo stali in zalije mesto zvara, skrčna cev pa pritisne vlakno ob jekleno opornico.

Zvar vlaken je najboljša in trajna rešitev spajanja optičnih vlaken, njegova izvedba pa vzame kar nekaj dela in časa. Za meritve na optičnih vlaknih in sestavnih delih, ki so opremljeni z vlakenskimi priključki potrebujemo enostavnejši način začasnega spajanja vlaken. Začasne spoje izvedemo tako, da pravilno odrezana konca vlaken le približamo z elastomerjem ali kapilarno cevko, kot je to prikazano na sliki 4.4.



Slika 4.4: Začasen spoj vlaken z elastomerom oziroma stekleno kapilaro.

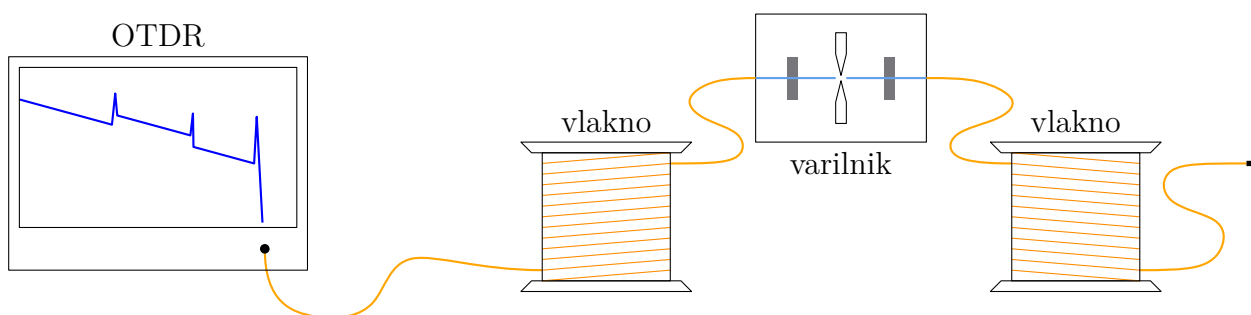
Spoj z elastomerjem ali kapilarno cevko seveda ni trajen niti mehansko trden ter prinaša večje izgube od zvara. Upoštevati je treba tudi odboj svetlobe na prehodu steklo-zrak-steklo med konci vlaken. Odboj znatno oslabimo z uporabo prozorne masti, ki ima podoben lomni količnik kot steklo.

4.2 Seznam pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

1. dva svitka enorodovnega optičnega vlakna s FC konektorji na enem koncu in prostim drugim koncem,
2. orodje za odstranjevanje primarne zaščite,
3. orodje za rezanje vlaken,
4. varilnik optičnih vlaken z vgrajenim mikroskopom,
5. optični reflektometer v časovnem prostoru – OTDR,
6. nekaj primerov elastomerov in kapilarnih cevk.

Vezava pripomočkov je prikazana na sliki 4.5.



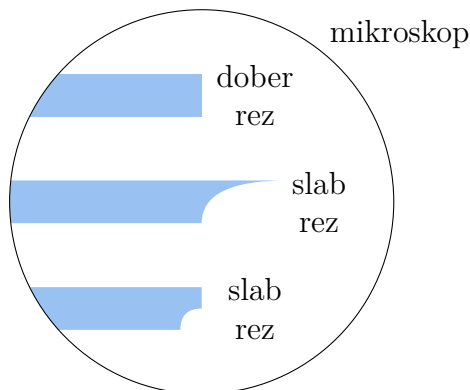
Slika 4.5: Merjenje slabljenja začasnih zvarov.

4.3 Obrazložitev vaje

Pri rezanju in obdelavi koncev optičnih vlaken moramo biti zelo previdni, ker imamo opraviti z zelo majhnimi deli. Paziti moramo tudi na čistočo, saj že zrnce prahu povsem pokvari spoj dveh optičnih vlaken. Končno pazimo na to, da se nam tanko optično vlakno oziroma različni odrezki na mizi ne zapičijo v kožo, saj je odstranjevanje steklenih drobcev iz kože zelo boleče.

Za vajo najprej naravnost pomerimo izhodno moč laserskega oddajnika. Nato vstavimo med laser in merilnik moči še zaporedno vezavo dveh kolutov mnogorodovnega vlakna s kapilarnimi spoji oziroma začasnimi zvari. Slabljenje pomerimo v obeh smereh, ker pri preskoku iz enorodovnega vlakna laserja na mnogorodovna vlakna z različnimi srednicami in končno nekoherentno detekcijo merilnika moči, recipročnost nujno ne velja.

Nato razdremo kapilarni spoj oziroma zlomimo začasni zvar. Vlakno nato na novo odrežemo: odstranimo primarno zaščito s kleščami, zarežemo vlakno s keramično ploščico, odlomimo na ukrivljeni plutovinasti ploščici in končno rezultat rezanja preverimo pod mikroskopom v varilniku za optična vlakna (glej sliko 4.6). Če je rez uspel, ponovno sestavimo kapilarni spoj in ponovno izmerimo slabljenje v obeh smereh. Če rez ni uspel, postopek rezanja ponovimo.



Slika 4.6: Primeri dobro in slabo odrezanega optičnega vlakna pod mikroskopom.

Če razpolagamo z varilnikom, ne razdiramo in ponovno sestavljamo kapilarni spoj, pač pa poskusimo narediti nov zvar. V ta namen je treba na novo odrezati in pripraviti konca dveh vlaken, preveriti opravljeno rezanje ter konca pravilno vstaviti v varilnik. V varilniku vlakni najprej približamo in poravnamo z mikrometerskimi vijaki. Še razmaknjena konca očistimo s kratkotrajnim lokom (0,1 s).

Ko sta očiščena konca vpeta in približana v varilniku, lahko že pomerimo vstavitveno slabljenje še pred varjenjem. Nato nastavimo čas varjenja in sprožimo postopek s pritiskom na ustrezno tipko. Če z zvarom nismo zadovoljni, lahko isti spoj segrejemo še enkrat in ponovno pomerimo vstavitveno slabljenje. Prekomerno segrevanje (večkratno varjenje) seveda poveča slabljenje zvara, ker se sredica in obloga vlakna pri taljenju medsebojno premešata.

4.4 Značilni rezultati

Kot rezultat vaje si zabeležimo slabljenje optične poti pred in po ponovnem spajanju istih vlaken. S kvalitetnim spajanjem lahko celo zmanjšamo slabljenje prvotno kapilarnih spojev ali zvarov.

4.5 Vprašanja in naloge

1. Zakaj je potrebno pred varjenjem odstraniti primarno izolacijo?
2. Koliko znaša slabljenje pred in po varjenju?
3. Koliko znaša celotno slabljenje?